



## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **10084160 A**(43) Date of publication of application: **31.03.98**

(51) Int. Cl.

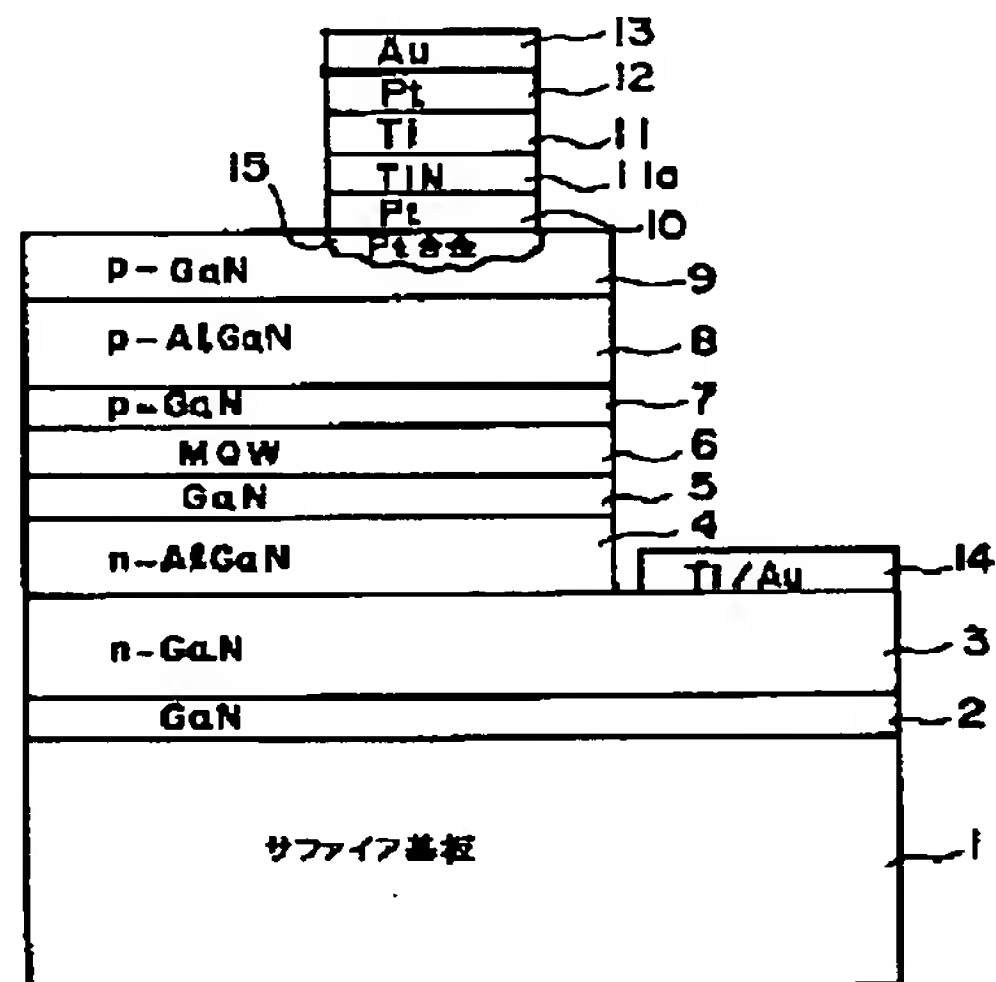
**H01S 3/18**(21) Application number: **08236743**(22) Date of filing: **06.09.96**(71) Applicant: **TOSHIBA CORP**(72) Inventor: **ONOMURA MASAOKI  
ITAYA KAZUHIKO  
HATAGOSHI GENICHI**(54) **GALLIUM NITRIDE SYSTEM COMPOUND  
SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING DEVICE**

COPYRIGHT: (C)1998,JPO

(57) Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To realize a low threshold current, a low operation voltage and the excellent reliability without deterioration, by a method wherein a high concentration p-type gallium nitride system compound semiconductor structure by which a low resistance p-type side electrode can be formed easily and carries can be implanted uniformly into an active layer with high efficiency is provided.

**SOLUTION:** A positive hole conduction type semiconductor layer has an Mg-doped p-type electrode contact layer 9 and at least a  $\text{Ga}_{x2}\text{In}_{y2}\text{Al}_{z2}\text{N}$  smoothing layer (wherein  $x2+y2+z2=1$ ,  $0 \leq x2$ ,  $z2 \leq 1$  and  $0 < y2 \leq 1$ ) is formed on an active layer (6) side of the 1 p-type electrode contact layer 9. A Pt layer 10, a TiN layer 11a and a Ti layer 11 are built up on the surface of the p-type electrode contact layer 9 in this order. Further, an alloy layer 15 made of Pt- semiconductor is formed between the p-type electrode contact layer 9 and the Pt layer 10.



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-84160

(43)公開日 平成10年(1998) 3月31日

(51)Int.Cl.<sup>6</sup>

H 0 1 S 3/18

識別記号

庁内整理番号

F I

H 0 1 S 3/18

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 8 頁)

(21)出願番号 特願平8-236743

(22)出願日 平成8年(1996) 9月6日

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72)発明者 小野村 正明

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝研究開発センター内

(72)発明者 板谷 和彦

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝研究開発センター内

(72)発明者 波多腰 玄一

神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株  
式会社東芝研究開発センター内

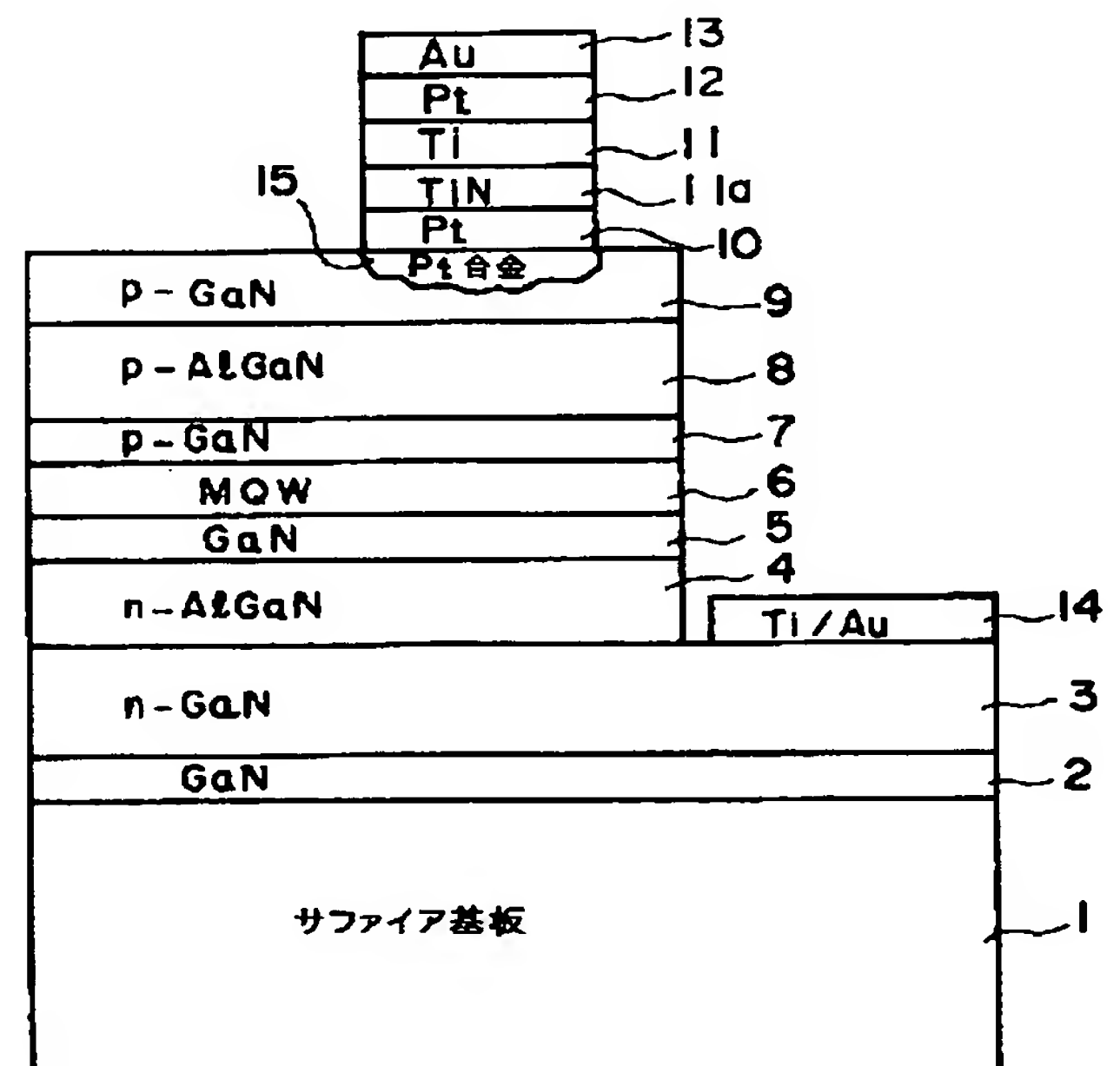
(74)代理人 弁理士 鈴江 武彦 (外6名)

(54)【発明の名称】 窒化ガリウム系化合物半導体発光素子

(57)【要約】

【課題】 本発明は、低抵抗p側電極を容易に形成でき、且つ、活性層へ高効率で均一にキャリア注入できる高キャリア濃度のp型窒化ガリウム系化合物半導体構造により、低しきい値電流、低動作電圧で、劣化を起こさず、優れた信頼性の実現を図る。

【解決手段】 正孔伝導型半導体層はMgを添加したp電極コンタクト層(9)を有し、p電極コンタクト層よりも活性層(6)側には少なくとも $Gax_2I ny_2Alz_2N$  ( $x_2+y_2+z_2=1$ 、 $0 \leq x_2$ 、 $z_2 \leq 1$ 、 $0 < y_2 \leq 1$ )平滑化層が形成され、且記p電極コンタクト層の表面にはPt層(10)、TiN層(11a)及びTi層(11)の順序の積層構造が形成され、しかも、p電極コンタクト層とPt層との間にはPt-半導体からなる合金層(15)が形成されていることを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 窒化ガリウム系化合物半導体 ( $GaxI nyAlzN$ :  $x+y+z=1$ 、 $0 \leq x, y, z \leq 1$ ) からなり、活性層を導電型の異なる半導体層で挟んだ窒化ガリウム系化合物半導体発光素子において、正孔伝導型半導体層はMgを添加したp電極コンタクト層を有し、前記p電極コンタクト層よりも前記活性層側には少なくとも  $GaxI nyAlzN$  ( $x+y+z=1$ 、 $0 \leq x, z \leq 1$ 、 $0 < y \leq 1$ ) 平滑化層が形成され、且つ前記p電極コンタクト層の表面にはPt層、TiN層及びTi層の順序の積層構造が形成され、しかも、前記p電極コンタクト層と前記Pt層との間にはPt-半導体からなる合金層が形成されていることを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項2】 請求項1に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子において、前記Ti層上には第2のPt層を介してAu層が形成されていることを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項3】 請求項1に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子において、前記p電極コンタクト層は炭素を含有し、前記TiN層と前記Pt層との界面は、前記p電極コンタクト層よりも炭素濃度が高いことを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項4】 請求項1に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子において、前記p電極コンタクト層は炭素及び酸素を含有し、前記TiN層と前記Pt層との界面は、前記p電極コンタクト層よりも炭素濃度及び酸素濃度が高いことを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項5】 請求項1に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子において、前記p電極コンタクト層は水素を含有し、前記第2のPt層と前記Au層との界面は、前記p電極コンタクト層よりも水素濃度が高いことを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、例えば、窒化ガリウム系青紫色半導体レーザ（以下、LDともいう）、あるいは窒化ガリウム系高輝度青／緑色発光ダイオード（以下、LEDともいう）の如き、窒化ガリウム系化合物半導体発光素子に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 従来、短波長半導体レーザは、InGaAlP材料を用いた600nm帯の光源により、ディスクの読出／書込のいずれも可能なレベルに特性改善され、すでに実用化されている。

【0003】 そこで、さらなる記録密度向上を目指し、

より波長の短い青色半導体レーザが盛んに開発されている。発振波長の短いレーザ光は集光サイズを小さくでき、記録密度を高めるには有効であるからである。

【0004】 このため、近年、GaN、InGaN、GaAlN、InGaAlN等の窒化ガリウム系化合物半導体は、高密度光ディスクシステム等への応用を図る短波長半導体レーザの材料として注目されている。

【0005】 例えば、GaN系材料を用いた半導体レーザでは、波長380～417nmの室温パルス発振が確認されている。しかしながら、GaN系材料を用いた半導体レーザは満足な特性が得られず、室温パルス発振におけるしきい値電圧は、10～40Vと高い値である上、ばらつきが大きい。

【0006】 これは、窒化ガリウム系化合物半導体層の結晶成長が難しいことと、素子抵抗が大きいことに起因する。即ち、表面が平滑で且つ高キャリア濃度のp型窒化ガリウム系化合物半導体層を形成できないことと、p側電極コンタクト抵抗が高いことにより、大きな電圧降下を招き、パルス発振動作でさえ発熱や金属反応による劣化を生ずる。なお、室温連続発振は、発熱量を考慮して10V以下まで動作電圧を低減しなければ達成できない。

【0007】 また、レーザ発振に必要な電流を注入すると、p型の窒化ガリウム系化合物半導体層が良質な結晶でなく、下層から上層への成長方向に沿って微細な複数の穴を有する欠陥があるため、局所的に高い電流が流れ、活性層に均一にキャリアを注入できないばかりか、瞬発的な素子破壊を起こすので、連続発振に至らない。

【0008】 このように、光ディスク等への実用に供する低しきい値電流、低しきい値電圧で動作し、信頼性の高い窒化ガリウム系青紫色半導体レーザを実現させるためには、活性層へのキャリア注入を効率的に且つ均一に行うと共に電極コンタクトでの電圧降下の抑制が重要であるものの、現状では極めて困難となっている。

## 【0009】

【発明が解決しようとする課題】 以上のように窒化ガリウム系化合物半導体レーザでは、微細な複数の穴状欠陥をもたない良質のp型窒化ガリウム系化合物半導体を得ることが困難であり、またp側電極コンタクト抵抗が高いために、電極コンタクトで大きな電圧降下を生じ、さらに、活性層への均一なキャリア注入ができず、低しきい値電流、低動作電圧の素子の実現が困難となっている。

【0010】 GaN系発光素子ではp側電極コンタクト抵抗が高いために動作電圧が高くなるばかりか、p側電極金属であるニッケルとp型半導体層を構成するガリウムが通電時に反応、溶融し、劣化を起こすためにレーザの連続発振が困難であつた。

【0011】 本発明は上記実情を考慮してなされたもので、低抵抗p側電極を容易に形成でき、且つ、活性層へ



高効率で均一にキャリア注入できる高キャリア濃度のp型窒化ガリウム系化合物半導体構造により、低しきい値電流、低動作電圧で、劣化を起こさず、優れた信頼性を有する窒化ガリウム系化合物半導体発光素子を提供することを目的とする。

#### 【0012】

【課題を解決するための手段】請求項1に対応する発明は、窒化ガリウム系化合物半導体 ( $Gax_1Iny_1Alz_1N$ :  $x_1+y_1+z_1=1$ 、 $0 \leq x_1, y_1, z_1 \leq 1$ ) からなり、活性層を導電型の異なる半導体層で挟んだ窒化ガリウム系化合物半導体発光素子において、正孔伝導型半導体層はMgを添加したp電極コンタクト層を有し、前記p電極コンタクト層よりも前記活性層側には  $Gax_2Iny_2Alz_2N$  ( $x_2+y_2+z_2=1$ 、 $0 \leq x_2, z_2 \leq 1$ 、 $0 < y_2 \leq 1$ ) 平滑化層が形成され、且つ前記p電極コンタクト層の表面にはPt層、TiN層及びTi層の順序の積層構造が形成され、しかも、前記p電極コンタクト層と前記Pt層との間にはPt-半導体からなる合金層が形成されている窒化ガリウム系化合物半導体発光素子である。

【0013】また、請求項2に対応する発明は、請求項1に対応する窒化ガリウム系化合物半導体発光素子において、前記Ti層上には第2のPt層を介してAu層が形成されている窒化ガリウム系化合物半導体発光素子である。

【0014】さらに、請求項3に対応する発明は、請求項1に対応する窒化ガリウム系化合物半導体発光素子において、前記p電極コンタクト層は炭素を含有し、前記TiN層と前記Pt層との界面は、前記p電極コンタクト層よりも炭素濃度が高くなっている窒化ガリウム系化合物半導体発光素子である。

【0015】また、請求項4に対応する発明は、請求項1に対応する窒化ガリウム系化合物半導体発光素子において、前記p電極コンタクト層は炭素及び酸素を含有し、前記TiN層と前記Pt層との界面は、前記p電極コンタクト層よりも炭素濃度及び酸素濃度が高くなっている窒化ガリウム系化合物半導体発光素子である。

【0016】さらに、請求項5に対応する発明は、請求項1に対応する窒化ガリウム系化合物半導体発光素子において、前記p電極コンタクト層は水素を含有し、前記第2のPt層と前記Au層との界面は、前記p電極コンタクト層よりも水素濃度が高くなっている窒化ガリウム系化合物半導体発光素子である。

【0017】なお、これら請求項1乃至請求項5に対応する発明は、以下の(1)～(5)を個々に満たすに従い、より望ましい実施形態となる。

(1) p電極コンタクト層のMg添加量は表面近傍で高濃度分布を有する。

(2) p電極コンタクト層は組成の異なる2種類以上の窒化ガリウム系化合物半導体からなる。

(3) GaInAlN平滑化層は活性層を多重量子井戸

構造に形成してなる。

(4) p電極コンタクト層の下部にn型導電層が存在する場合は、p型導電層とn型導電層の間には少なくとも1層のGaInAlN平滑化層を挿入してなる。換言すると、GaInAlN平滑化層よりも上層にp電極コンタクト層を形成するという位置関係が重要である。なお、GaInAlN平滑化層とp電極コンタクト層との間において、クラッド層や導波層などは有っても無くてもよい。

10 (5) p電極コンタクト層に接する電極構造は、膜厚10nm以下の薄いPt層の上部に、Ti/Pt/Auが積層される。

(作用) 従って、請求項1及び請求項2に対応する発明は以上のような手段を講じたことにより、少なくともIn元素を含むGaInAlN平滑化層の上にMg添加窒化ガリウム系半導体層を形成し、さらにPt及びTi電極を形成することで、微細な穴状欠陥等の結晶欠陥が少なくアクセプタ濃度の高いp型半導体層が得られ、且つ電極金属である薄いPt層がp型半導体層に僅かに拡散することで実効的な電極接触面積が増大するとともに、Pt元素はMg添加と同時に取込まれる水素元素や結晶成長後の大気暴露による表面酸化膜の還元触媒として働きMgの活性化率を向上させ実効的なアクセプタ濃度を増大させ、さらに上部のTi層が窒化ガリウム系半導体層の窒素元素と反応し極めて安定なTiNを形成することで上部の電極金属である第2のPt層及びAu層の下方への拡散を抑制できるので、結果として結晶品質の向上を図ることができる。このため、低抵抗p側電極を容易に形成でき、且つ、活性層へ高効率で均一にキャリア注入できる高キャリア濃度のp型窒化ガリウム系化合物半導体構造を実現でき、電極コンタクトでの電圧降下を抑制して、低しきい値電流、低動作電圧で、劣化を起こさず、優れた信頼性を奏することができる。

20 【0018】また、請求項3及び請求項4に対応する発明は、前記p電極コンタクト層は炭素及び酸素を含有し、TiN層とPt層との界面は、p電極コンタクト層よりも炭素濃度及び酸素濃度が高くなっており、すなわち、半導体層中の炭素及び酸素が、Ptを触媒にして外部に除去される過程でTiN層にて止められているので、請求項1に対応する作用と同様の作用を奏することができる。

30 【0019】さらに、請求項5に対応する発明は、前記p電極コンタクト層は水素を含有し、第2のPt層とAu層との界面は、p電極コンタクト層よりも水素濃度が高くなっており、すなわち、半導体層中の炭素及び酸素が、Ptを触媒にして外部に除去される過程でAu層にて止められているので、請求項1に対応する作用と同様の作用を奏することができる。

40 (関連発明) なお、上述した請求項1乃至請求項5に対応する発明に対する関連発明について説明する。この関

5

連発明は、p型GaN系半導体への電流供給のために、パラジウム(Pd)またはPtとTiを夫々1%以上含有するp型半導体層を形成することで動作電圧の低減と発熱量の抑制を図り、さらには構成元素の通電による拡散を防止することで信頼性の向上を図るものである。

【0020】例えば、六方晶構造を有するIII-V族化合物半導体装置のp型半導体層に電流を供給するために、PdまたはPtとTiを夫々1%以上含有するp型半導体層を形成することで、実質的な電極接触面積が増大し電極抵抗を $10^{-5} \Omega \text{cm}^2$ 程度まで低減できるばかりか、GaN系半導体の表面から浅い領域に形成されるこの層はTiとNの結合を含むために安定な拡散防止層となり通電時に起こる元素拡散を抑制し素子劣化が防止可能である。

【0021】また、p型半導体層をInを含む $\text{Ga}_x\text{In}_y\text{Al}_z\text{N}$  ( $0 \leq x, y, z \leq 1$ 、かつ、 $x+y+z=1$ ) 半導体にすることで、PdまたはPtとTiを夫々1%以上含有するp型半導体層との電極抵抗を $10^{-6} \Omega \text{cm}^2$ まで低減可能である。また、六方晶構造III-V族化合物半導体装置のp型半導体層表面に、PdまたはPtが(10nm以下の範囲で)形成され、さらにTiが(50nm以下の範囲で)形成され、さらにp型半導体層に電流を供給する電極金属を形成された半導体装置において、300℃以上の熱処理工程により化学的に結合の強いPdまたはPtとTiを夫々1%以上含有する厚さ20nm以下のp型半導体層が形成可能である。

#### 【0022】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について図面を参照して説明する。

(第1の実施の形態) 図1は本発明の第1の実施例に係る青色半導体レーザの概略構成を示す断面図である。この青色半導体レーザは、MOCVD法により、サファイア基板1上に、GaNバッファ層2、n-GaNコンタクト層3(Siドーブ、 $5 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、 $4 \mu\text{m}$ )、n-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nクラッド層(Siドーブ、 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、 $0.3 \mu\text{m}$ )4、GaN導波層(アンドープ、 $0.1 \mu\text{m}$ )5、活性層6、p-GaN導波層(Mgドーブ、 $0.1 \mu\text{m}$ )7、p-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nクラッド層(Mgドーブ、 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、 $0.3 \mu\text{m}$ )8、p-GaNコンタクト層(Mgドーブ、 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 、 $1 \mu\text{m}$ )9が順次形成された、多層構造を有している。

【0023】この多層構造のp型GaNコンタクト層9上には、10nm厚のPt層10、熱処理に後述するTiN層11a、30nm厚のTi層11、10nm厚のPt層12、及び $1 \mu\text{m}$ 厚のAu電極パッド13が順次積層され、p型電極が形成される。

【0024】また、このAu電極パッド13又はp型GaNコンタクト層9の最表面の一部は、n型GaNコン

6

タクト層3に達する深さまでドライエッチング法により除去され、これにより露出されたGaNコンタクト層3上にはn側電極14が形成される。

【0025】なお、活性層6は、10層のIn<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N量子井戸(アンドープ、 $2.5 \text{nm}$ )を個別に挟むIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N障壁層(アンドープ、 $5 \text{nm}$ )からなるものである。

【0026】次に、このような青色半導体レーザの製造方法及び作用について説明する。図1中、サファイア基板1上のGaNバッファ層2からp-GaNコンタクト層9までの各層は、1回のMOCVD法により形成される。

【0027】また、この青色半導体レーザでは、Inを含むGaInAlN平滑化層を、InGaN量子井戸活性層6として用い、その上部にMg添加の窒化ガリウム系半導体18、19を形成しているために、基板1側から伝搬される微細な穴状欠陥やクラックや転位等の結晶欠陥をGaInAlN平滑化層が抑制するので、p側電極側では、平滑なp型半導体層18、19を得ることができる。

【0028】なお、本発明者らの実験によると、GaInAlN平滑化層無しでも、p-GaNコンタクト層9の厚さが $0.6 \mu\text{m}$ 以上あるとき、p-GaNコンタクト層9の表面は微細な複数の穴状欠陥を埋込み可能と考えられる。すなわち、GaInAlN平滑化層を設けることに加え、p-GaNコンタクト層9の厚さを $0.6 \mu\text{m}$ 以上とすることにより、確実にp型半導体層の高品質化を図ることができる。

【0029】次にp-GaNコンタクト層9の表面に幅 $10 \mu\text{m}$ の領域にPt(5nm)/Ti(30nm)/Pt(10nm)/Au( $1 \mu\text{m}$ )が順次積層される。次に、350℃窒素雰囲気中で熱処理を施すと、Ptは最大で堆積膜厚の約3倍の深さまで下方拡散しp-GaNコンタクト層9中のGaと固相反応してPt-半導体の合金層15を形成し、同時に、Tiはp-GaNコンタクト層9から上方拡散するNと固相反応し、夫々安定に結合してTiN層11aをPt層との界面に形成するが、この熱処理によりp型ドーバントであるMgのアクセプタとしての活性化を妨げている水素元素や炭素元素、あるいは電極形成前の大気暴露により表面に結合した酸素元素はPtが触媒として働き、膜中から除去されるためにアクセプタ濃度が上昇し、Mgの活性化率はほぼ100%になることがわかった(なお、上記水素元素、炭素元素及び酸素元素は、成長時の種々の要因により、当該熱処理の前には各半導体層からなる多層構造中にほぼ一定濃度で分布しているものである)。

【0030】さらに、TiN層11aとPt層10との界面は、p-GaNコンタクト層9よりも炭素濃度及び酸素濃度が高くなっており、すなわち、半導体層中の炭素及び酸素が、Ptを触媒にして外部に除去される過程



でTiN層11aにて止められる。

【0031】また、上層のPt層12とAu層13との界面は、p-GaNコンタクト層9よりも水素濃度が高くなっており、すなわち、半導体層中の炭素及び酸素が、Ptを触媒にして外部に除去される過程でAu層13にて止められる。

【0032】次に、n側電極14形成のためにp側電極を含んだメサ形状が形成され、メサ下部に現れたn-GaNコンタクト層3にTi/Auによりn側電極14が形成される。ここで、n側電極14形成の後にp電極を形成してもよい。さらにサファイア基板1は50 $\mu$ mまで鏡面研磨され、p側電極の長手方向に対して垂直方向にへき開され、もって、1mm長のレーザチップが形成される。

【0033】この青色半導体レーザは、しきい値電流80mAで室温連続発振した。発振波長は420nm、動作電圧は7Vであり、さらに50℃、30mW駆動における素子寿命は5000時間であった。本レーザの場合、Pt層10とp-GaNコンタクト層9との実質的な接触面積が増大するために抵抗が $1 \times 10^{-5} \Omega \text{cm}^2$ と低減できたばかりか、このp-GaNコンタクト層9のMg活性化率がほぼ100%まで良質化できたために高キャリア濃度が得られ、p-AlGaNクラッド層8を介して活性層6に均一にキャリアを注入できるようになった。

【0034】さらに、第1の実施の形態に係るp-GaNコンタクト層9のMg添加量を表面から0.2 $\mu$ mの範囲で2倍に、残る0.8 $\mu$ mの範囲で1/2倍にした2段階ドーピングにした青色半導体レーザでは、さらに特性が改善された。すなわち、本構造による青色半導体レーザでは、動作電圧が第1の実施の形態よりさらに下がり6.5Vであった。p型コンタクト層を2段階ドーピングすることで、表面の電極コンタクト抵抗を低減させる効果と、コンタクト層下部の抵抗を上げて横方向への漏れ電流を抑制する効果が得られた。

【0035】上述したように第1の実施の形態によれば、少なくともInを含むGaInAlN平滑化層の上にMg添加窒化ガリウム系半導体層を形成することにより、微細な穴状欠陥等の結晶欠陥を低減させることができる。

【0036】また、p-GaNコンタクト層9の上にPt層10を形成することにより、Pt層がp-GaNコンタクト層9に僅かに拡散することで実効的な電極接触面積が増大するとともに、Pt元素は、p型半導体層に種々の原因により存在する水素元素、炭素元素及び酸素元素の還元触媒として働き、これら各不純物元素をp型半導体層から除去するように作用するので、Mgの活性化率を向上させて実効的なアクセプタ濃度を増大させることができる。

【0037】さらにPt層10上にTi層11を形成す

ることにより、Ti層が窒化ガリウム系半導体層のN元素と反応し極めて安定なTiNを形成することで上部の電極金属である第2のPt層12及びAu層13の下方への拡散を抑制できる。

【0038】これらGaInAlN平滑化層、Pt層10及びTi層11などの各効果により、結果として結晶品質の向上を図ることができる。従って、低抵抗p側電極を容易に形成でき、且つ、活性層へ高効率で均一にキャリア注入できる高キャリア濃度のp型窒化ガリウム系化合物半導体構造を実現でき、電極コンタクトでの電圧降下を抑制して、低しきい値電流、低動作電圧で、劣化を起こさず、優れた信頼性を奏することができる。

(第2の実施の形態) 次に、本発明の第2の実施の形態に係る青色半導体レーザについて説明する。図2はこの青色半導体レーザの概略構成を示す断面図であり、図1と同一部分には同一符号を付してその詳しい説明は省略し、ここでは異なる部分についてのみ述べる。

【0039】すなわち、本実施の形態に係る半導体レーザは、第1の実施の形態に比べ、より一層のコンタクト抵抗の低減を図るものであり、具体的には図2に示すように、p-GaN層9とPt電極10との間に、p-In<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nコンタクト層21が挿入された構造となっている。

【0040】ここで、p-In<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nコンタクト層21は、Mgドーピング、 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 、厚さ0.2 $\mu$ mの半導体層である。また、この青色半導体レーザは、p-In<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nコンタクト層21を形成する以外は、第1の実施の形態と同様に製造される。

【0041】以上のような青色半導体レーザは、しきい値電流75mAで室温連続発振した。発振波長は420nm、動作電圧は6Vであり、さらに50℃、30mW駆動における素子寿命は5000時間であった。本レーザの場合、Pt層10と接触するp-In<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nコンタクト層21がp-GaN層9よりバンドギャップが狭いためにショットキー障壁が低くなり、従って実質的な接触面積増大効果と相まって電極コンタクト抵抗が $7 \times 10^{-6} \Omega \text{cm}^2$ と低減できたばかりか、p-In<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nコンタクト層21のMg活性化率がほぼ100%まで良質化できたために高キャリア濃度が得られ、p-AlGaNクラッド層8を介して活性層6に均一にキャリアを注入できるようになった。

【0042】上述したように第2の実施の形態によれば、p-GaN層9とPt電極10との間に、p-GaN層9よりもバンドギャップの狭いp-In<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nコンタクト層21が挿入されたので、第1の実施の形態の効果に加え、p側電極とのコンタクト抵抗を一層低減させることができ、もって、動作電圧の低減化などを図ることができる。

(第3の実施の形態) 次に、本発明の第3の実施の形態に係る青色半導体レーザについて説明する。図3はこの

青色半導体レーザの概略構成を示す断面図であり、図1と同一部分には同一符号を付してその詳しい説明は省略し、ここでは異なる部分についてのみ述べる。

【0043】すなわち、本実施の形態に係る半導体レーザは、第1の実施の形態とは異なり、内部電流狭窄構造を有するものであり、具体的には図3に示すように、 $p$ -Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nクラッド層8上に選択的に形成された複数の $n$ -Ga<sub>0.9</sub>N電流ブロック層31（ $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 、 $0.5 \mu\text{m}$ ）と、これら $p$ -Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nクラッド層8上及び各 $n$ -Ga<sub>0.9</sub>N電流ブロック層31上に形成された $0.1 \mu\text{m}$ 厚のIn<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N平滑化層32とを備えている。

【0044】なお、In<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N平滑化層32上には、前述同様に、 $p$ -Ga<sub>0.9</sub>Nコンタクト層9が形成されている。また、この青色半導体レーザは、電流狭窄構造によってMOCVD法による成長回数が3回となっていることを除き、第1の実施の形態と同様に製造される。

【0045】以上のような半導体レーザは、しきい値電流70mAで室温連続発振した。発振波長は420nm、動作電圧は6.5Vであり、さらに50℃、30mW駆動における素子寿命は5000時間であった。本レーザの場合、第1の実施の形態に述べた効果に加え、さらに内部電流狭窄構造を形成したために $p$ 側電極の面積が増大して $p$ 側コンタクト抵抗が $5 \times 10^{-6} \Omega \text{ cm}^2$ まで低減できた。すなわち、内部構造電流狭窄構造により、さらなる低電圧動作化が図られた。

【0046】上述したように第3の実施の形態によれば、第1の実施の形態の効果に加え、より一層、コンタクト抵抗を低減させることができる。また、In<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N平滑化層32のすぐ上に $p$ -Ga<sub>0.9</sub>Nコンタクト層9を形成した構成としても、前述同様に、In<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N平滑化層32が微細な穴状欠陥の伝搬を阻止するので、結晶の品質を向上させることができる。

（第4の実施の形態）次に、本発明の第4の実施の形態に係る青色半導体レーザについて説明する。

【0047】図4はこの青色半導体レーザの概略構成を示す断面図であり、図1と同一部分には同一符号を付してその詳しい説明は省略し、ここでは異なる部分についてのみ述べる。

【0048】すなわち、本実施の形態に係る青色半導体レーザは、第1の実施の形態とは異なり、埋込み型の電流狭窄構造を有するものであり、具体的には図4に示すように、Ga<sub>0.9</sub>N導波層5乃至 $p$ -Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nクラッド層8が幅 $10 \mu\text{m}$ のメサ構造とされ（厚さは前述した通り）、このメサ構造の両側にアンドープAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nブロック層41が形成され、且つ、これらAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nブロック層41及び $p$ -Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nクラッド層8の両層41、8と $p$ -Ga<sub>0.9</sub>Nコンタクト層9との間にInGaAlN平滑化層42を介在さ

せた構造となっている。

【0049】なお、この青色半導体レーザは、内部電流狭窄構造によってMOCVD法による成長回数が3回となっていることを除き、第1の実施の形態と同様に製造される。

【0050】以上のような青色半導体レーザは、しきい値電流60mAで室温連続発振した。発振波長は420nm、動作電圧は5Vであり、さらに50℃、30mW駆動における素子寿命は5000時間であった。本レーザの場合、実施例1に述べた効果の上に、さらに埋め込み構造電流狭窄構造を形成したために $p$ 側電極10～13の面積が増大し $p$ 側コンタクト抵抗が $5 \times 10^{-6} \Omega \text{ cm}^2$ まで低減できた。すなわち、臨界膜厚以下の薄膜量子井戸活性層による低しきい利得化と埋め込み構造電流狭窄構造により、さらなる低電圧動作化が図られた。

【0051】上述したように第4の実施の形態によれば、第1の実施の形態の効果に加え、内部電流狭窄構造を具備することができる。

（第5の実施の形態）次に、本発明の第5の実施の形態に係る青色半導体レーザについて説明する。

【0052】図5はこの青色半導体レーザの概略構成を示す断面図であり、図1と同一部分には同一符号を付してその詳しい説明は省略し、ここでは異なる部分についてのみ述べる。

【0053】すなわち、本実施の形態に係る青色半導体レーザは、第1の実施の形態とは異なり、電流狭窄構造を有するものであり、具体的には図5に示すように、Ga<sub>0.9</sub>N導波層7と $p$ -Al<sub>0.8</sub>Ga<sub>0.2</sub>Nクラッド層8との接合部がInGaAlN平滑化層42を介し、アンドープAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nブロック層51により、電流狭窄構造とされている。

【0054】ここで、Ga<sub>0.9</sub>N導波層7は、活性層6上に形成され、幅 $10 \mu\text{m}$ 、厚さ $0.2 \mu\text{m}$ のメサ形状を有するアンドープ半導体層である。なお、Ga<sub>0.9</sub>N導波層7のメサ下部は、厚さ $0.1 \mu\text{m}$ であり、その上にアンドープAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nブロック層51が形成されている。

【0055】 $p$ -Al<sub>0.8</sub>Ga<sub>0.2</sub>Nクラッド層8は、幅 $10 \mu\text{m}$ の窓を有し、この窓がGa<sub>0.9</sub>N導波層7のメサ上部に対向するように、InGaAlN平滑化層42を介して、Ga<sub>0.9</sub>N導波層7のメサ上部及びアンドープAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nブロック層51の上に形成されている。また、 $p$ -Al<sub>0.8</sub>Ga<sub>0.2</sub>Nクラッド層8は、前述同様に、Mgドープ、 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、（窓部の）厚さ $0.3 \mu\text{m}$ である。

【0056】なお、この青色半導体レーザは、電流狭窄構造によってMOCVD法による成長回数が3回となっていることを除き、第1の実施の形態と同様に製造される。以上のような青色半導体レーザは、しきい値電流60mAで室温連続発振した。発振波長は420nm、動

作電圧は5Vであり、さらに50℃、30mW駆動における素子寿命は5000時間であった。本レーザの場合も、第4の実施の形態と同様の効果が得られた。

(他の実施の形態) 本発明及びその関連発明などは、上記第1乃至第5の実施の形態に限られるものではなく、半導体層の組成や膜厚、さらには導電性が逆の構造であってもよい。また、発光素子以外にも、受光素子や、トランジスタなどの電子デバイスにも適用可能である。その他、本発明はその要旨を逸脱しない範囲で種々変形して実施できる。

#### 【0057】

【発明の効果】 以上説明したように本発明によれば、低抵抗p側電極を容易に形成でき、且つ、活性層へ高効率で均一にキャリア注入できる高キャリア濃度のp型窒化ガリウム系化合物半導体構造により、低しきい値電流、低動作電圧で、劣化を起こさず、優れた信頼性を有する窒化ガリウム系化合物半導体発光素子を提供できる。

#### 【図面の簡単な説明】

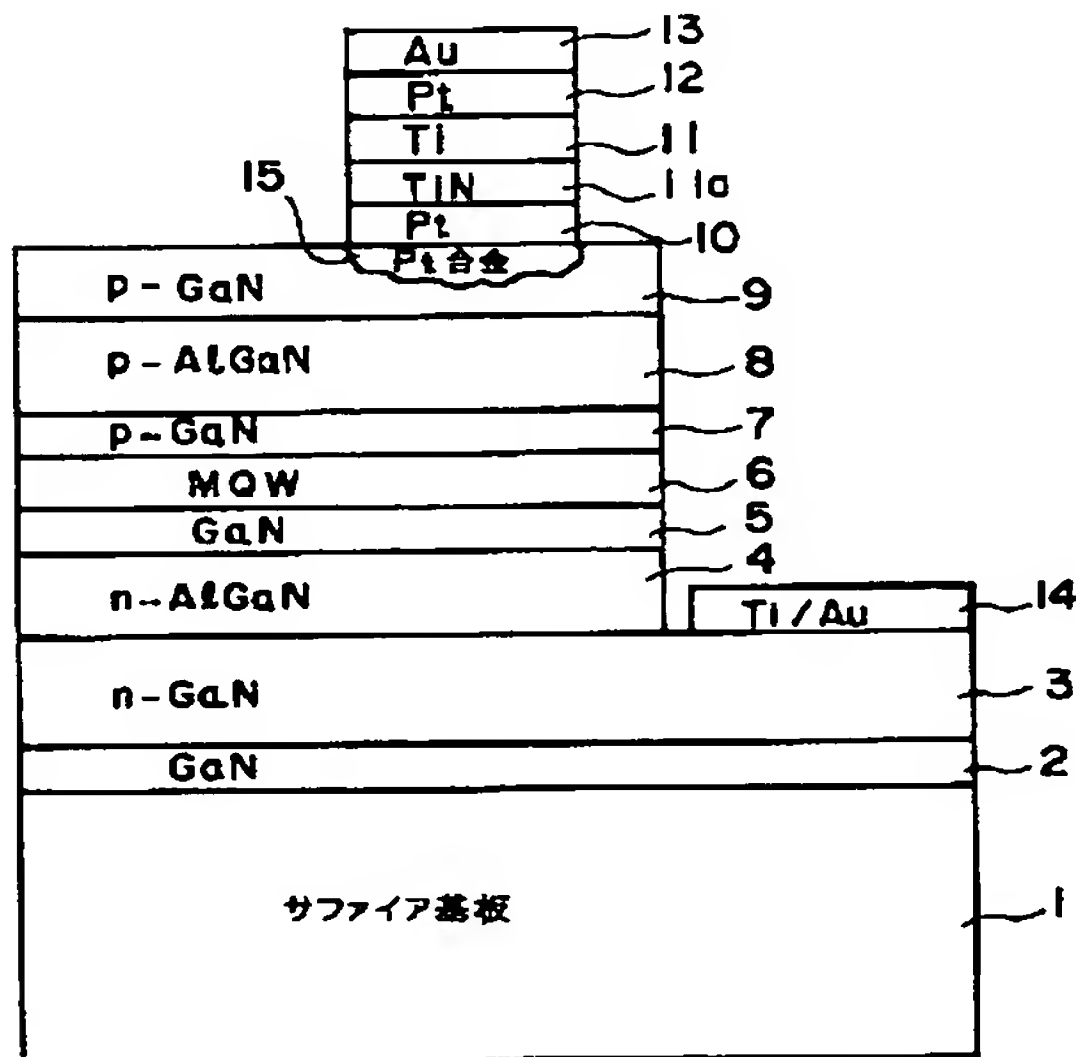
【図1】 本発明の第1の実施例に係る青色半導体レーザの概略構成を示す断面図。

【図2】 本発明の第2の実施例に係る青色半導体レーザの概略構成を示す断面図。

【図3】 本発明の第3の実施例に係る青色半導体レーザの概略構成を示す断面図。

【図4】 本発明の第4の実施例に係る青色半導体レーザ

【図1】



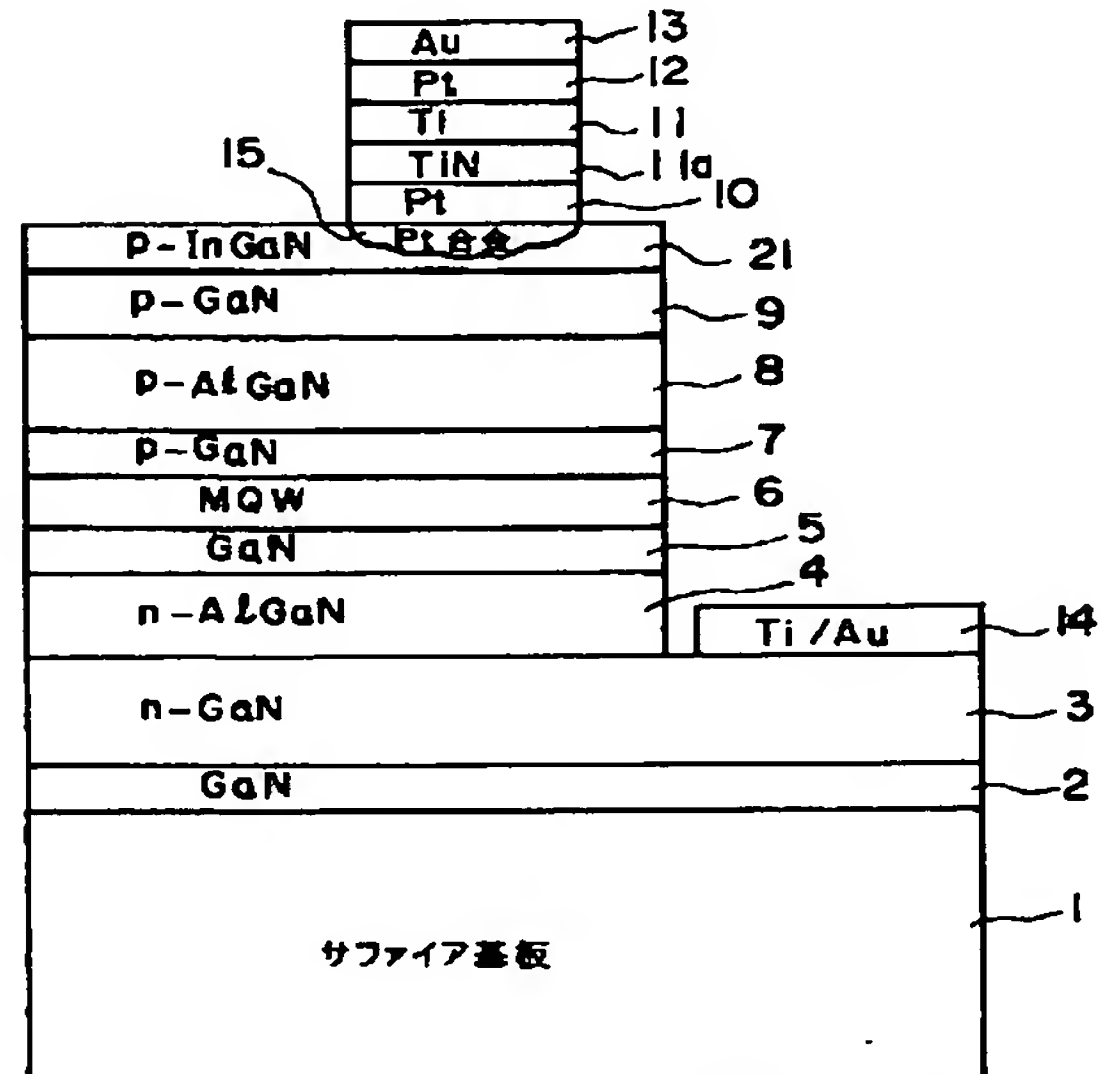
の概略構成を示す断面図。

【図5】 本発明の第5の実施例に係る青色半導体レーザの概略構成を示す断面図。

#### 【符号の説明】

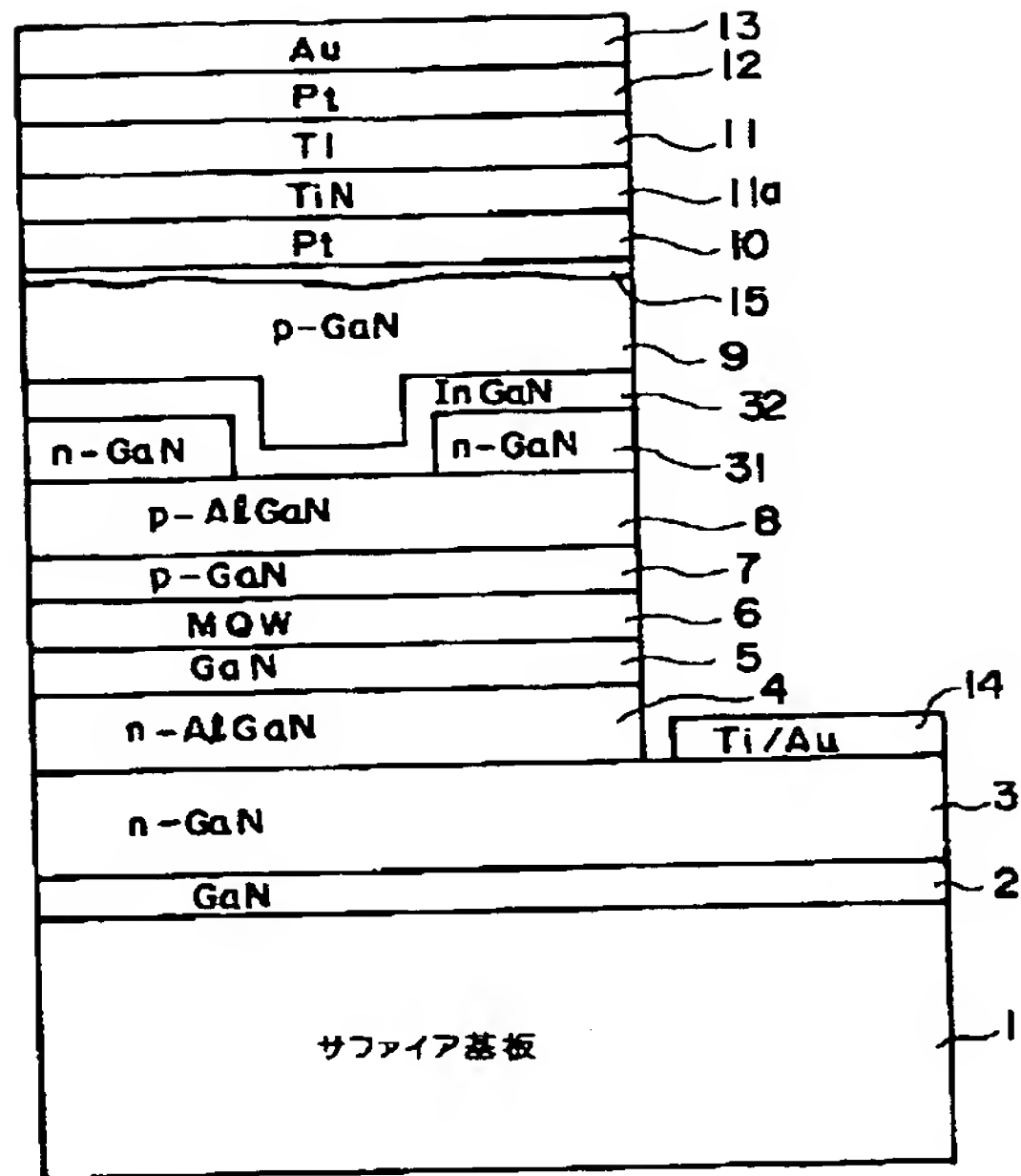
- 1…サファイア基板
- 2…Ga<sub>0.9</sub>Nバッファ層
- 3…n-GaNコンタクト層
- 4…n-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nクラッド層
- 5…Ga<sub>0.9</sub>N導波層
- 6…活性層
- 7…p-GaN導波層
- 8…p-Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>Nクラッド層
- 9…p-GaNコンタクト層
- 10…Pt層
- 11a…TiN層
- 11…Ti層
- 12…Pt層
- 13…Au電極パッド
- 14…n側電極
- 20 15…合金層
- 31…n-GaN電流ブロック層
- 32…In<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>N平滑化層
- 41, 51…アンドープAl<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nブロック層
- 42…InGaAlN平滑化層

【図2】

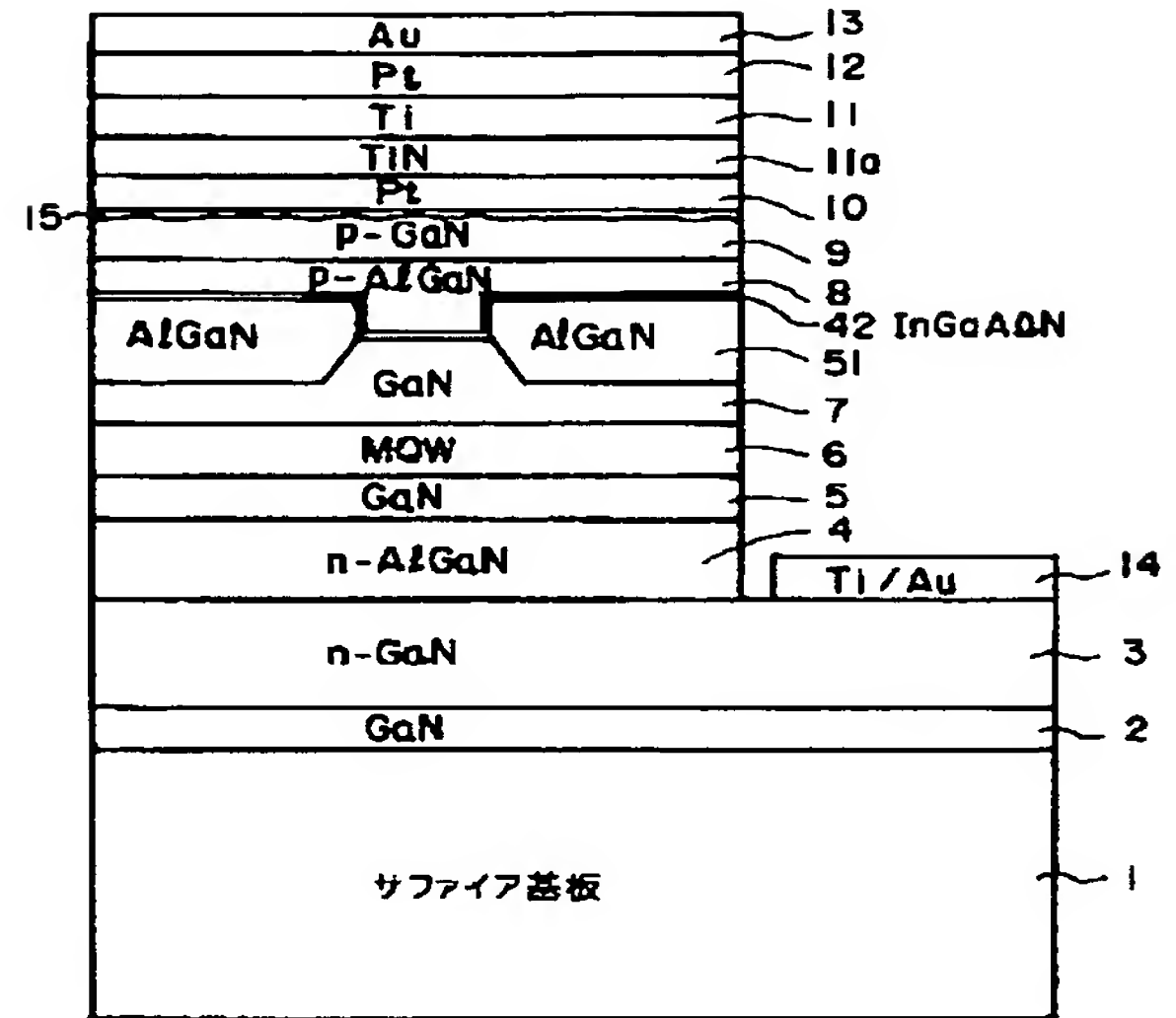




【図3】



【図5】



【図4】

